

SHAPE MEASURING DEVICE AND IMAGE FORMATION APPARATUS OF SHAPE MEASUREMENT

Publication number: JP10318732

Publication date: 1998-12-04

Inventor: TAKACHI NOBUO; OTANI HITOSHI

Applicant: TOPCON CORP

Classification:

- International: G01B11/24; G06T1/00; G06T7/00; G06T7/60;
G01B11/24; G06T1/00; G06T7/00; G06T7/60; (IPC1-7):
G01B11/24; G06T7/00; G06T7/60

- European:

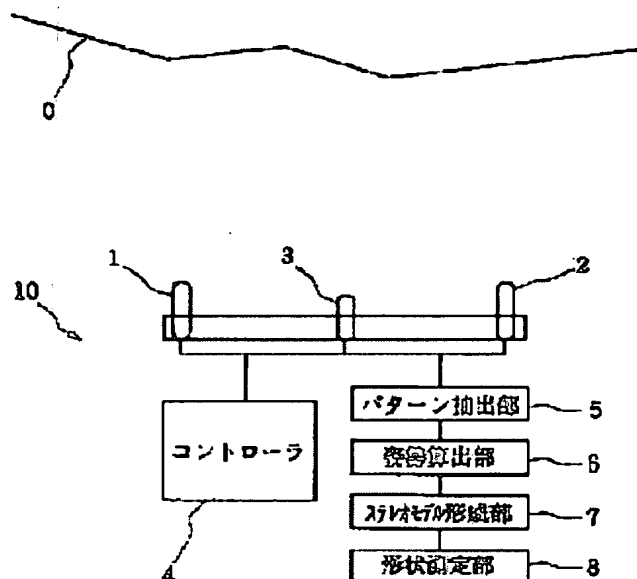
Application number: JP19970147059 19970522

Priority number(s): JP19970147059 19970522

Report a data error here

Abstract of JP10318732

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a shape measuring device which automatically performs a locating operation and a three-dimensional measuring operation by a method wherein, on the basis of a first photographed image and a second photographed image, a positional relationship is computed from a difference image obtained by a feature-pattern extraction part, the first and second photographed images are formed so as to be capable of being viewed three-dimensionally on the basis of the relationship and the shape of an object is found. **SOLUTION:** By an instruction from a controller 4, a feature pattern is applied to an object 0, to be measured, from a feature-pattern projection part 3. An image is photographed by a left-image photographing part 1 and a right-image photographing part 2, and image data is transferred to a feature-pattern extraction part 5. When the transfer of images to an image memory for feature-pattern photographing and to an image memory without a feature pattern is finished, the two images are differentiated through an image-difference computing device so as to be fetched by a feature-pattern image memory. In order to perform a locating processing operation, the position of a mark image is detected by projecting a feature pattern. A coordinate value which is found is sent to a posture computing part 6 so as to be located and computed. A stereomodel is formed by a parameter which is found, and three-dimensional coordinates are obtained by a shape measuring part 8.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-318732

(43) 公開日 平成10年(1998)12月4日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

G 0 1 B 11/24

G 0 1 B 11/24

K

G 0 6 T 7/00

G 0 6 F 15/62

4 1 5

7/60

15/70

3 5 0 B

4 5 5 B

審査請求 未請求 請求項の数6 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願平9-147059

(22) 出願日

平成9年(1997)5月22日

(71) 出願人 000220343

株式会社トプコン

東京都板橋区蓮沼町75番1号

(72) 発明者 高地 伸夫

東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社ト
プコン内

(72) 発明者 大谷 仁志

東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社ト
プコン内

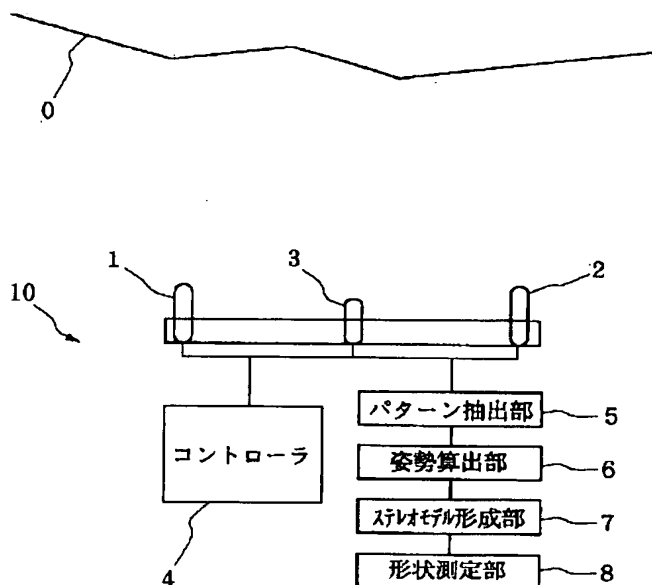
(74) 代理人 弁理士 田辺 徹

(54) 【発明の名称】 形状測定装置及び形状測定用画像形成装置

(57) 【要約】

【課題】 標定から三次元計測までを自動的に効率良く高精度で行う。

【解決手段】 基準となる特徴パターンが設けられた測定対象物を異なる方向から撮影した一对の第1撮影画像と、基準となる特徴パターンが設けられていない測定対象物を第1撮影画像の撮影方向と同じ方向から撮影した一对の第2撮影画像とに基づいて、各方向で得られた第1撮影画像と第2撮影画像との差をとり特徴パターンを抽出する特徴パターン抽出部と、特徴パターン抽出部で得られた差分画像から、一对の第1撮影画像又は第2撮影画像の位置関係を求める位置関係算出部と、前記位置関係算出部で求めた位置関係に基づき、第1撮影画像又は第2撮影画像が立体視可能なステレオモデルとなるように関係付けるステレオモデル形成部と、ステレオモデル形成部で形成されたステレオモデルに基づいて対象物の形状を求める形状測定部と、から構成される形状測定装置。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基準となる特徴パターンが設けられた測定対象物を異なる方向から撮影した一対の第1撮影画像と、基準となる特徴パターンが設けられていない測定対象物を第1撮影画像の撮影方向と同じ方向から撮影した一対の第2撮影画像とに基づいて、各方向で得られた第1撮影画像と第2撮影画像との差をとり特徴パターンを抽出する特徴パターン抽出部と、特徴パターン抽出部で得られた差分画像から、一対の第1撮影画像又は第2撮影画像の位置関係を求める位置関係算出部と、前記位置関係算出部で求めた位置関係に基づき、第1撮影画像又は第2撮影画像が立体視可能なステレオモデルとなるように関係付けるステレオモデル形成部と、ステレオモデル形成部で形成されたステレオモデルに基づいて対象物の形状を求める形状測定部と、から構成される形状測定装置。

【請求項2】 請求項1記載の形状測定装置において、前記特徴パターン抽出部は、各方向から得られた第1撮影画像と第2撮影画像との差をとった差分画像と、予め記憶されている基準特徴パターン画像とを比較して特徴パターン画像を抽出するように構成されていることを特徴とする形状測定装置。

【請求項3】 請求項1記載の形状測定装置において、前記特徴パターン抽出部は、各方向から得られた第1撮影画像と第2撮影画像との差をとった差分画像と、予め記憶されている基準特徴パターン画像との比較を、テンプレートマッチング法により行い特徴パターン画像を抽出するように構成されていることを特徴とする形状測定装置。

【請求項4】 請求項1記載の形状測定装置において、前記特徴パターン抽出部は、テンプレートマッチング法を施し粗検出を行った後に、特徴パターン付近の画像に対して所定の処理を行い精密検出を行い特徴パターン画像を抽出するように構成されていることを特徴とする形状測定装置。

【請求項5】 測定対象物に基準となる特徴パターンを選択的に形成する特徴パターン形成部と、基準となる特徴パターンが形成された測定対象物を異なる方向から一対の第1撮影画像として、又基準となる特徴パターンが形成されていない測定対象物を第1撮影画像の撮影方向と同様な方向から第2撮影画像として撮影する画像形成部とからなる形状測定用画像形成装置。

【請求項6】 請求項5記載の形状測定用画像形成装置において、前記特徴パターン形成部は、測定対象物に基準となる特徴パターンを選択的に投影する特徴パターン投影部で構成されていることを特徴とする形状測定用画像形成装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、異なるカメラ位置から三次元計測をする際の前段階の標定作業の自動化ならびに、ステレオマッチングの初期値を自動的に取得、三次元計測の自動化を行う技術に関する。

【0002】

【従来の技術】 地上写真測量において、三次元計測を行う場合、図1に示す流れで計測が行われる。すなわち、対象物のステレオ撮影(a)→位置検出(b)→標定(c)→ステレオモデル形成(d)→三次元計測(e)の処理が必要である。これらの処理はコンピュータによる演算が中心であるが、その中で、位置検出(b)及び三次元計測(e)は従来から人手を介して行われている。位置検出(b)は、撮影するカメラの位置や傾き等を求める標定の前処理である。

【0003】 標定(c)でカメラ間と測定対象物の位置関係を求めることにより、立体視可能なステレオモデルを形成することができ、三次元計測が可能となる。標定(c)を行うための位置検出(b)の処理は、異なるカメラに写し込まれている対応する6点以上のそれぞれのカメラ上における座標位置を求める作業である。

【0004】 三次元計測(e)には、ポイント計測と面計測の2種類がある。

【0005】 ポイント計測の場合、対象物上の計測点を人手を介してマニュアルで計測しているが、自動化を画ったり精度を向上するためには、対象物にマークを貼る作業を行っている。

【0006】 面計測の場合、画像処理によるステレオマッチングという手法を利用して自動で行う。その際に、テンプレート画像の決定や探索幅の設定等の初期設定は、人手を介して行う必要があった。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 位置検出(b)の作業は、作業者が撮影された左右画像の対象物上の6点以上の計測点を選択し、各画像を観察しながら対象物上の計測点の対応付け及び座標位置検出を行うものである。ところが、これらの作業は基本的に立体視をしながら行う必要があるため熟練を要し、かつ煩雑、困難、難解であった。

【0008】 特に、計測点を決めて左右画像を対応付け、詳細な位置座標を検出する作業は、個人差が生じ易く結果が各人各様で十分な精度が得難かった。また、人によっては計測不能となることも多々あった。このような不具合を回避するために、対象物にマークを貼る等の処理を行う場合もある。

【0009】 しかし、対象物自体にマークを貼るといった作業が増えることはマイナスであり、更に対象物によっては容易にマークを貼ることができないものもあるため、この手法の普及を妨げている。

【0010】 他方、ステレオ運台上に2台のカメラを強

固に固定することにより、標定作業を行わずに三次元計測をするという手法もある。

【0011】しかし、その場合には、運台上の2台のカメラの位置関係が絶対にくるってはずらず、測定環境や測定対象物が大幅に限定されてしまう。同時に、そのような装置は大きく重く持ち運び困難であり、かつ高価となるために、この手法による三次元計測法も余り普及していない。

【0012】また、三次元計測(e)のポイント計測において、測定対象物にマーク等を貼らない場合には、作業者が撮影された画像上を観察しながら計測点を指示して計測する必要があった。このため、測定点が多いと手間や時間がかかっていた。また、精度良く計測しようとするとどうしても個人差が生じ易く、計測不能といった事態も生じていた。

【0013】対象物にマークを貼って計測すれば上記事態を避けることができるが、その場合には、前述のようにマークを貼るための手間が新たに生じ、対象物によってはマークを貼ることが難しかったり計測不能になることもあった。

【0014】面計測の場合は、前処理としてステレオマッチングによる自動計測を行う際のテンプレート画像の決定や、最適な探索幅の決定等を人手により行う必要があった。更に、ミスマッチング点等があった場合は人手を介して修正を行う必要があり、結局自動化することが難しかった。

【0015】本発明は、このような従来技術の問題点を鑑み、標定作業から三次元計測までを自動的に効率良くかつ高精度で行える形状測定装置及びその形状測定用の画像形成装置を提供するものである。

【0016】

【課題を解決するための手段】本願第1発明の形状測定装置は、基準となる特徴パターンが設けられた測定対象物を異なる方向から撮影した一对の第1撮影画像と、基準となる特徴パターンが設けられていない測定対象物を第1撮影画像の撮影方向と同じ方向から撮影した一对の第2撮影画像とに基づいて、各方向で得られた第1撮影画像と第2撮影画像との差をとり特徴パターンを抽出する特徴パターン抽出部と、特徴パターン抽出部で得られた差分画像から、一对の第1撮影画像又は第2撮影画像の位置関係を求める位置関係算出部と、前記位置関係算出部で求めた位置関係に基づき、第1撮影画像又は第2撮影画像が立体視可能なステレオモデルとなるように関係付けるステレオモデル形成部と、ステレオモデル形成部で形成されたステレオモデルに基づいて対象物の形状を求める形状測定部と、から構成されることを特徴としている。

【0017】前記特徴パターン抽出部は、各方向から得られた第1撮影画像と第2撮影画像との差をとった差分画像と、予め記憶されている基準特徴パターン画像とを

比較して特徴パターン画像を抽出するように構成することができる。

【0018】前記特徴パターン抽出部は、各方向から得られた第1撮影画像と第2撮影画像との差をとった差分画像と、予め記憶されている基準特徴パターン画像との比較を、テンプレートマッチング法により行い特徴パターン画像を抽出するように構成することができる。

【0019】前記特徴パターン抽出部は、テンプレートマッチング法を施し粗検出を行った後に、特徴パターン付近の画像に対して所定の処理を行い精密検出を行い特徴パターン画像を抽出するように構成することができる。

【0020】本願第2発明の形状測定用画像形成装置は、測定対象物に基準となる特徴パターンを選択的に形成する特徴パターン形成部と、基準となる特徴パターンが形成された測定対象物を異なる方向から一对の第1撮影画像として、又基準となる特徴パターンが形成されていない測定対象物を第1撮影画像の撮影方向と同様な方向から第2撮影画像として撮影する画像形成部とから構成されることを特徴としている。

【0021】前記特徴パターン形成部は、測定対象物に基準となる特徴パターンを選択的に投影する特徴パターン投影部で構成することができる。

【0022】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する。

【0023】図1は本発明における計測の流れを示しており、図2は本発明の形状測定装置を概念的に示すブロック図である。

【0024】a. 対象物のステレオ撮影

まず、コントローラ4からの指示によって特徴パターン投影部3から測定対象物0に特徴パターンをあてる。そして、測定対象物0の画像を左右画像撮影部1及び2により撮影し、特徴パターン抽出部5に画像データを転送する。

【0025】左右画像撮影部1及び2は、図3に示すように、光学系11、CCD12、CCDドライバ13、オペアンプ14、A/D変換器15等から構成される。

【0026】図5と図6は、特徴パターンの例を示している。これらの特徴パターン20は円形で構成されているが、特徴パターン投影によるマーク像の位置が求められるものであれば、円形以外のどんな形状のものでも良い。

【0027】特徴パターン投影部3は、スライドプロジェクターやレーザポインタ等、特徴パターン20を投影できるものなら何でもよい。

【0028】図4は、特徴パターン抽出部5の詳細なブロック図である。

【0029】左右画像撮影部1及び2により転送される画像データは、図3のA/D変換器15によりデジタル

データに変換され、特徴パターン抽出部5の特徴パターン投影用画像メモリ51に転送される。

【0030】次に、コントローラ4からの指示により、特徴パターン投影を停止し、左右画像撮影部1及び2により特徴パターンなしの画像を撮影し、特徴パターン抽出部5の特徴パターンなし用画像メモリ52にデジタル画像データを転送する。

【0031】特徴パターン投影用画像メモリ51と特徴パターンなし用画像メモリ52に画像転送が終わったら、コントローラ4の指示により、画像差分演算器53を通して二つの画像を差分する。そして、差分画像を、特徴パターン画像メモリ54に取り込む。

【0032】この結果、特徴パターン画像メモリ54内のデータは、測定対象物0の画像情報が消去されたもの、すなわち特徴パターン20に関する情報（マーク像のデータ）のみとなる。

【0033】b. 位置検出

標定処理を行うために、特徴パターン投影によるマーク像の位置検出を行う。

【0034】特徴パターン位置検出部55により、特徴パターン画像メモリ54内の特徴パターン座標位置を検出する。

【0035】特徴パターン20は、その位置が明確にわかるものであればどんな形状のものでも良いが、ここでは図5や図6のような特徴パターン20を仮定する。また、特徴パターンは図5や図6のように6点以上あれば、何点でもかまわない。

【0036】特徴パターン画像メモリ54には特徴パターン投影によるマーク像以外の情報は含まれていないため、誤検出をなくすることができる。更に、自動で位置検出を行うことが容易になるので、常に安定した位置座標

検出を個人差なく高精度で行うことができる。

【0037】ここでは、点の概略位置検出にテンプレートマッチング法を用い、詳細位置検出にモーメント法を用いる場合を説明する。

【0038】テンプレートマッチング法については相関法の一つである残差逐次検定法（SSDA法）を説明するが、正規化相関法等を使用しても良い。また、詳細位置検出にはモーメント法でなくLOGフィルタ法等を用いても良い。

【0039】以下、位置検出処理について説明する。

【0040】（概略位置検出）

1. テンプレート画像を登録する。

【0041】テンプレート画像は、図5や図6の投影特徴パターン20の一つのマークと似たようなシミュレーション画像を作成しても良い、あるいは、実際の画像をどれか選んで用いても良い。

【0042】2. $S > R(a, b)$ となる点を画像全体で探索する（数式1参照）。

【0043】 $R(a, b)$ が0に近いほど類似度が高い。Sは適当な値を前持って決めておく。この場合、特徴パターン以外の画像情報は消去されているため容易に決定できる。テンプレートマッチングには正規化相関法等を用いても良いが、残差逐次検定法を使用すれば、処理をさらに高速化できる。

【0044】〔残差逐次検定法（SSDA法）〕SSDA法の原理図を図7に、式を数式1に示す。

【0045】残差 $R(a, b)$ が最小になる点が求めるマークの位置である。

【0046】

【数1】

$$R(a, b) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |I_{(a,b)}(m, n) - T(m, n)|$$

$T(m, n)$: テンプレート画像、 $I_{(a,b)}(m, n)$: 対象画像の部分画像

(a, b) : テンプレート画像の左上座標 $R(a, b)$: 残差

式の加算において、 $R(a, b)$ の値が過去の残差の最小値を越えたら加算を打ち切り、次の (a, b) に移るよう計算処理を行うことにより、処理の高速化をはかることができる。

【0047】3. $R(a, b)$ 最小かつ隣接するマーク位置の間隔等の条件により、投影特徴パターンのマーク位置をマーク数分決定し、位置座標とする。

【0048】（詳細位置決定）

1. 探索領域決定

前述の（概略位置検出）によって決まった点に対し、そこを中心とした探索領域を設定する。

【0049】2. マーク領域の決定

探索領域について、濃度値がしきい値以上の領域を一つのマークとする（図8参照）。

【0050】しきい値は、ある適当な値を予め決めておく。画像は、マーク以外は差分処理を施しているため殆ど0となっている。

【0051】3. 重心位置算出

モーメント法を行い、重心位置座標を算出する。

【0052】〔モーメント法〕図8に示されている通り、しきい値T以上の点について（マークK）、以下の式を施す。

【0053】

【数2】

$$x_g = \{ \sum x * f(x, y) \} / \sum f(x, y)$$

(x_g, y_g) : 重心位置の座標、 $f(x, y)$: (x, y) 座標上の濃度値

【0054】

【数3】

$$y_g = \{ \sum y * f(x, y) \} / \sum f(x, y)$$

(x_g, y_g) : 重心位置の座標、 $f(x, y)$: (x, y) 座標上の濃度値

この数式2及び数式3によって、サブピクセル位置まで重心位置が算出可能となる。

【0055】4. 点数分だけ1～3を行う。

【0056】以上で、図5あるいは図6のような特徴パターン投影によるマーク像の位置座標を算出することができる。

【0057】概略位置検出を行わずに、最初から詳細位置検出を行っても良く、また、他のアルゴリズムによって位置検出しても構わない。

【0058】いずれにしても、画像は特徴パターン情報のみなので、高速かつ、高精度に位置を算出することが

可能である。

【0059】c. 標定

次に、特徴パターン位置検出部55で求めた座標値を姿勢算出部6に送り、標定計算を行う。

【0060】この計算により、左右それぞれのカメラの位置等が求められる。

【0061】次の共面条件式により、それらのパラメータを求める。

【0062】

【数4】

$$\begin{vmatrix} X_{01} & Y_{01} & Z_{01} & 1 \\ X_{02} & Y_{02} & Z_{02} & 1 \\ X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

X_{01}, Y_{01}, Z_{01} : 左画像の投影中心座標

X_{02}, Y_{02}, Z_{02} : 右画像の投影中心座標

X_1, Y_1, Z_1 : 左画像の像座標

X_2, Y_2, Z_2 : 右画像の像座標

モデル座標系の原点を左側の投影中心にとり、右側の投影中心を結ぶ線をX軸にとるようにする。縮尺は、基線長を単位長さにとる。このとき求めるパラメータは、左側のカメラのZ軸の回転角 κ_1 、Y軸の回転角 ϕ_1 、右側のカメラのZ軸の回転角 κ_2 、Y軸の回転角 ϕ_2 、X軸の回転角 ω_2 の5つの回転角となる。この場合、左側のカメラのX軸の回転角 ω_1 は0なので、考慮する必要

ない。

【0063】このような条件にすると、数式4の共面条件式は数式5のようになり、この式を解けば各パラメータが求まる。

【0064】

【数5】

$$F(\kappa_1, \phi_1, \kappa_2, \phi_2, \omega_2) = \begin{vmatrix} Y_1 & Z_1 \\ Y_2 & Z_2 \end{vmatrix} = Y_1 Z_2 - Y_2 Z_1 = 0$$

ここで、モデル座標系XYZとカメラ座標系xyzの間には、次に示すような座標変換の関係式が成り立つ。

【0065】

【数6】

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_1 & 0 & \sin \phi_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi_1 & 0 & \cos \phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \kappa_1 & -\sin \kappa_1 & 0 \\ \sin \kappa_1 & \cos \kappa_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -c \end{pmatrix}$$

【0066】

【数7】

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega_2 & -\sin \omega_2 \\ 0 & \sin \omega_2 & \cos \omega_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi_2 & 0 & \sin \phi_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi_2 & 0 & \cos \phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \kappa_2 & -\sin \kappa_2 & 0 \\ \sin \kappa_2 & \cos \kappa_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ -c \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

これらの数式を用いて、次の手順により、未知パラメータを求める。

1. 初期近似値は通常0とする。
2. 共面条件式5を近似値のまわりにテーラー展開し、線形化したときの微分係数の値を数式6、7により求め、観測方程式をたてる。
3. 最小二乗法をあてはめ、近似値に対する補正量を求める。
4. 近似値を補正する。
5. 補正された近似値を用いて、上記2.～5.までの操作を収束するまで繰り返す。

【0067】仮に、どこかのマークが対象物の形状等

$$X_m = t_1 (X_1 - X_{01}) + X_{01}$$

X_m, Y_m, Z_m : モデル座標 t_1, t_2 : 媒介変数

【0071】

【数9】

$$Y_m = 1/2 \times (t_1 (Y_1 - Y_{01}) + t_2 (Y_2 - Y_{02}) + Y_{01} + Y_{02})$$

X_m, Y_m, Z_m : モデル座標 t_1, t_2 : 媒介変数

【0072】

【数10】

$$Z_m = t_1 (Z_1 - Z_{01}) + Z_{01}$$

X_m, Y_m, Z_m : モデル座標 t_1, t_2 : 媒介変数

このようにして、三次元計測が可能な状態となる。

【0073】e. 三次元計測

(1) ポイント計測

図6のような6点以上の特徴パターン20を使用し、複数のマークを位置検出(b)と同様な処理をすることにより、その三次元座標を自動で高精度に求められる。

(2) 面計測

図6のような投影特徴パターン20を使用することにより、ステレオマッチングの初期値とすることが可能となる。

【0074】面計測の場合の初期値の決めかたについて説明する。

【0075】図9と図10は説明図であり、図6のような投影特徴パターンのうちの一部について抜き出したも

で、うまく位置検出されていない場合には、収束しない場合がありうる。その場合は、1点1点削除して、上記1～5までを行い、収束したもの、あるいは、一番良いもののパラメータを使用する。

【0068】d. ステレオモデル形成

次に、標定により求められたパラメータにより、立体視可能なステレオモデル座標系へ画像を変換し、ステレオモデルを形成する。

【0069】モデル座標への変換式は以下のようになる。

【0070】

【数8】

のである。図9は基準とする基準画像、図10は探索を行う探索画像である。これら基準・探索画像は、左右どちらの画像でもよい。例えば、左画像を基準画像、右画像を探索画像と決める。

【0076】投影特徴パターンは基準画像S'1、S'2、S'5、S'6に対し探索画像上ではS1、S2、S5、S6が対応している。

【0077】対応点探索は、基準画像中の基準データブロックをテンプレート画像として、探索画像中の探索領域にステレオマッチングを施すことにより行う。ステレオマッチングには画像関連処理等を使用する。

【0078】[探索領域の決定] 投影特徴パターンをもとに、探索領域を決定する方法について説明する。

【0079】投影特徴パターンS1～S2（水平方向）

を幅A、S1～S5（垂直方向）を幅Bとし、S1、S2、S5、S6で囲まれた部分を探索領域R1とする。以下同様にS2、S3、S6、S7で囲まれた部分を探索領域R2、…と順次それぞれの投影特徴パターンで囲まれた部分を探索領域として決定する。

【0080】実際の投影特徴パターンによるマーク像は、それぞれ図11に示されるように、対象物の形状やCCDの向きによって同一ライン上にあるとは限らない。そこで、各投影特徴パターンの4点から最大のA、Bの幅が得られるような四角形を作成し、探索領域とする。例えば図11では、S1、S2、S5、S6でとりうる最大の幅は水平方向A1、垂直方向B1となり、これで作成した四角形の領域を探索領域R1、同様に、S2、S3、S6、S7でとりうる最大幅A2、B2で作成される四角形を探索領域R2とする。このようにすると、多少オーバーラップする領域ができるが、R1、R2領域の境界も確実に探索が可能となる。

【0081】これは、既に求めた探索画像中のマーク像の位置に基づいて、探索画像に探索領域の範囲を決定するものである。

【0082】図12はこの探索領域決定の変形例である。

【0083】例えば、それぞれの投影特徴パターンは、左右画像上ですでに対応点として求められているので、探索領域の探索開始位置と終了位置を投影点近隣の領域とすると効率がよい。すなわち、図11の例だと、垂直方向にS1からS5まで探索幅A1ずつ探索を進めていくと、S5のライン周辺に近づくにつれ、無駄な探索領域（明らかに対応点が存在しない領域）ができる。

【0084】そこで、図12のS1～S5間（垂直方向）の1/2のD1までは、S1と同一の水平方向の点を探索領域の開始点とし、D1～S5間ではD1とS5を結んだ線上を水平方向の探索開始点にとる。

【0085】このような処理を各投影点につき探索領域として設定し、探索領域を多少オーバーラップさせながらステレオマッチングを行えば、ある程度効率のよい探索が可能となる。

【0086】図13、図14は、探索領域中の探索データブロックを設定することにより、さらに探索領域の探索を効率化したものである。

【0087】たとえば、探索画像中のマークS1～S2のA1の区間において、図9で示される基準画像上の基準データブロックT1、T2、T3…、それぞれに対応する探索領域上の位置を求めるとき、それぞれの探索データブロックを図13で示されるように、U1、U2、U3、…、と何ブロックかにわけて設定する。このようにすれば、探索領域探索における時間を短かくし効率的に探索できる。この場合、探索データブロックの範囲は、基準データブロックをいくつにとるかで決定できる。例えば基準画像S'1～S'2のA'間でn個基準

データブロックを設定するとすれば、 $A1/n$ 、あるいは $A1/(n-1)$ 等とすれば良い。（ $n-1$ ）としたのは、多少探索データブロックをオーバーラップさせて探索を行う場合である。

【0088】これは、既に求めた探索画像中のマーク像の位置及び探索領域の位置に基づいて、探索画像に探索領域の範囲を設定するものである。見方を変えると基準画像中のマーク像の位置及び基準データブロック位置との位置関係に基づいて、探索画像に探索領域の範囲を設定するものともいえる。

【0089】図13の方式の変形例が図14に示されている。これは、探索データブロックのサイズを可変としたものである。すなわち、マークS1、S2の近隣領域は、基準データブロックに対する対応点が近くにあることがわかっているため、探索データブロックのサイズを小さく、離れるにしたがって対応点位置が不確かとなるため大きくするものである。従って、基準データブロックが $A'/2$ の位置で最大の探索データブロックサイズとなる。

【0090】これら探索データブロックのサイズは、S1～S2の探索領域A1より決定する。

【0091】例えば、nをA'間の基準データブロック数とすれば、

・S1～S1+A1/2の区間の探索データブロックサイズ：

$$(1+t \times i/n) \times A1/n,$$

・S1+A1/2～S2の区間の探索データブロックサイズ：

$$(1+t \times (n-i)/n) \times A1/n,$$

但し、iはそれぞれの基準データブロックに対応する探索データブロックの位置、すなわち $i=1 \sim n$ とする。

また、tは倍率の定数で所定の値に設定する。例えばS1+A1/2の位置でS1の位置（U1）の探索データブロックサイズの倍にしたければ2を選ぶ。

【0092】これら探索データブロックサイズは、基準画像中のマークS'1、S'2及び基準データブロックT1、T2、…、に基づいて決定してもよい。その際は、上述のA1をA'とし、倍率 $A1/A'$ を加味した項を掛け合わせる。

【0093】このように、探索領域及び探索データブロックを設定することにより、対応点探索を効率よく、すなわち高速かつ信頼性を高めながら行うことが可能となる。

【0094】この方式では、探索画像中のマーク像の位置及び探索領域の位置との位置関係に基づいて、見方を変えれば基準画像中のマーク像の位置及び基準データブロック位置との位置関係に基づいて、探索画像に探索領域の範囲の大きさを設定している。

【0095】〔基準データブロックの決定〕基準となる基準データブロックは、基準画像上のS'1、S'2、

S' 5、S' 6、あるいは搜索画像上のS 1、S 2、S 5、S 6から決定する。例えば基準画像(図9) S' 1 ~ S' 2をA'、S' 1 ~ S' 5をB' とすれば、水平方向の基準データブロック幅はA' / n、垂直方向はB' / mのように決定できる。

【0096】あるいは、左右画像の比率に比例した大きさにしてもよい。例えば、水平方向はA' / A * n、垂直方向は、B' / B * mのように設定する。

【0097】n、mは計測したい対象物の大きさと画素数の関係によって適切な大きさを求めることができるが、A'、B'の値によって適宜定数としても良い。

【0098】図15は基準データブロックサイズを1種類でなく3種類として相関積をとりながら、上述の処理と同様にステレオマッチングしていく方法である。この場合も、この3種類のサイズをA'、B'の情報をもとに決定できる。

【0099】図16は、本発明の基準データブロック決定における更なる変形例である。S' 1及びS' 2近隣の領域は、基準・搜索画像上で比較的对応が取れているために基準データブロックは小さくてよいが、離れるにしたがって、対応位置が不確かとなるため基準データブロックサイズを動的に変化させる。たとえば、T 1位置、T 2位置、T 3位置において図14のように基準データブロックを拡大していく。そして、基準データブロック位置がA' / 2地点で最大の大きさとする。A' / 2からS' 2に向かっては、基準データブロックサイズを逆に順次小さくしていく。

【0100】このようにすることにより、ステレオマッチングの信頼性を高めることができる。

【0101】これら基準データブロックサイズは、S' 1 ~ S' 2の水平方向の幅A'、S' 1 ~ S' 5の垂直方向の幅B'より決定する。

【0102】例えば、n、mをA'、B'間の基準データブロック数とすれば、

・S' 1 ~ S' 1 + A' / 2の区間の基準データブロックサイズ:

水平方向: $(1 + t \times i / n) \times A' / n$ 、

垂直方向: $(1 + t \times l / m) \times B' / m$

・S' 1 + A' / 2 ~ S' 2の区間の基準データブロックサイズ

水平方向: $(1 + t \times (n - i) / n) \times A' / n$ 、

垂直方向: $(1 + t \times (m - l) / m) \times B' / m$

但し、i、lはそれぞれの基準データブロック位置、すなわちi = 1 ~ n、l = 1 ~ mとする。

【0103】ここで、tは倍率の定数であり、所望の値に設定する。例えばS' 1 + A' / 2の位置でS' 1の位置(T 1)の基準データブロックサイズの倍にしたければ2を選ぶ。

【0104】このようにすれば、基準データブロックを可変にできる。

【0105】また、図15のような3種類の基準データブロックを上述の例のように可変とし、相関積をとることにより、ステレオマッチングしていけば、更に信頼性の高い対応点探索が可能となる。

【0106】これら基準データブロックの決定は、搜索画像におけるマークS 1、S 2によって同様に行ってもよい。その際は、A'をA 1、B'をB 1として更に基準画像と搜索画像の倍率A' / A 1を加味した項を掛け合わせる。

【0107】以上のようにすることによって、各初期値が自動で求められる。

【0108】次に、実際に行う計測(ステレオマッチング)の手順について説明する。

【0109】例として図6の投影特徴パターンS 1 ~ S 8の場合について、図9、11により説明する。

【0110】垂直方向は標定処理が終了し、縦視差が除去されている(位置合わせしてある)ので、基準画像、搜索画像の同一ライン上を探索するだけで良い。また搜索データブロックを設定する際は、各搜索領域において上述のように適宜設定して行う。

【0111】1. 搜索画像のS 1 ~ S 2までの搜索領域R 1の水平方向のラインL 1の探索幅A 1に対し、基準画像中のT 1、T 2、T 3、…の基準データブロックで順次対応点探索を行う。

【0112】これら初期値は、先に述べたような方法で決定しておく。

【0113】搜索領域R 1のラインL 1上のA 1が終了したら、

2. S 2 ~ S 3の搜索領域R 2に対し、この領域で決められた基準データブロック位置からラインL 1のA 2上の対応点探索を順次繰り返す。

【0114】3. 次に、S 3 ~ S 4の搜索領域R 3のラインL 1のA 3を対応点探索する。搜索領域R 3に対しては、この領域で決められたテンプレートサイズ、位置で順次行う。

【0115】ラインL 1の対応点探索が終了したら、次のラインL 2に移動して、また、搜索領域R 1の探索幅A 1から、対応点探索を1 ~ 3と同様に繰り返す。

【0116】これを必要なライン数分繰り返す。

【0117】以上のようにすれば、投影特徴パターンの位置から、ステレオマッチングする際の初期値、すなわち、搜索領域、搜索データブロック、および基準データブロックを自動で決定し、自動計測が可能となる。

【0118】さらに、基準・搜索画像の搜索領域と基準データブロックをA'、B'以内と限定できるため、通常のステレオマッチングよりはるかに高速な処理が可能となる。すなわち、通常は、各探索位置において1水平ライン分(図6、line)ステレオマッチングを行うのであるが、その処理時間が投影点の数により数分の1となる。

【0119】また、基準・搜索画像上の対応領域があらかじめ限定され求められているため、ミスマッチングが大幅に減少できる。すなわち、ステレオマッチングの信頼性を大幅に向上させることができる。

【0120】これに加えて、基準データブロックや搜索領域、搜索データブロックを投影点の位置情報により適切に決定できるので、更にステレオマッチングの信頼性が高められる。

【0121】また、基準データブロックや搜索データブロックをその探索位置により動的に可変可能となるので、信頼性がそれ以上に高められる。

【0122】そして、これらステレオマッチングは、投影特徴パターンのない画像上で行えるので特徴パターンによる誤検出が生じない。また、特徴パターンがない画像は画像データベースとしての価値が生じ、計測と同時に原画像の蓄積が行える。

【0123】さらに、前述の実施例によれば、特徴パターンを投影した画像と投影しない画像を使用するために、対象物に計測用のマークを貼るという作業が必要なくなり、マークの貼れないような対象物においても計測が可能になる。

【0124】このように、特徴パターンがある画像とない画像を差分することにより、特徴パターン情報のみの画像が作成できることから、特徴パターン位置検出～標定～ステレオモデル形成～三次元計測までを、人手によらず自動で精度良く行うことが可能となる。すなわち、従来熟練を要し煩雑であった人手による標定作業と三次元計測作業をなくすことができ、すべてを自動で行って信頼性を向上することが可能となる。

【0125】さらに、カメラをステレオ運台上に強固に固定する必要はなく、現場で2台のカメラをラフに設置して撮影するだけで、高精度な三次元計測が可能になるので、現場や対象物によらず簡便に計測可能であるという卓越した効果がある。

【0126】また、特徴パターンの点を増やすことにより、ステレオマッチングの初期値とすること、すなわち自動で探索幅、テンプレート画像の決定を行いステレオマッチングすることが可能となり、更にステレオマッチング時間の短縮と信頼性を大幅に向上させながら、対象物の表面形状を自動測定できるという卓越した効果がある。

【0127】

【発明の効果】本発明の形状測定装置によれば、基準となる特徴パターンが設けられた測定対象物を異なる方向から撮影した一对の第1撮影画像と、基準となる特徴パターンが設けられていない測定対象物を第1撮影画像の撮影方向と同じ方向から撮影した一对の第2撮影画像とに基づいて、標定作業から三次元計測までを人手を介さずに自動的に効率良くかつ高精度に行うことができる。

【0128】また、本発明の形状測定用画像形成装置によれば、基準となる特徴パターンが設けられた測定対象物を異なる方向から撮影した一对の第1撮影画像と、基準となる特徴パターンが設けられていない測定対象物を第1撮影画像の撮影方向と同じ方向から撮影した一对の第2撮影画像を形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の形状測定装置における計測の流れを示すブロック図。

【図2】本発明の形状測定装置を概念的に示すブロック図。

【図3】形状測定装置の左右画像撮影部を示す概念図。

【図4】形状測定装置のパターン抽出部を示すブロック図。

【図5】投影パターンの一例を示す平面図

【図6】投影パターンの別の例を示す平面図

【図7】SSDA法によるテンプレートマッチングを示す説明図。

【図8】モーメント法を示す説明図。

【図9】基準画像を示す説明図。

【図10】搜索画像を示す説明図。

【図11】搜索画像を示す説明図。

【図12】搜索画像を示す説明図。

【図13】搜索画像を示す説明図。

【図14】搜索画像を示す説明図。

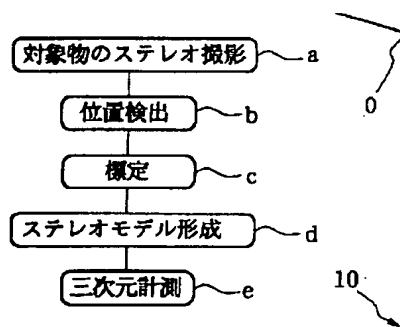
【図15】基準画像を示す説明図。

【図16】基準画像を示す説明図。

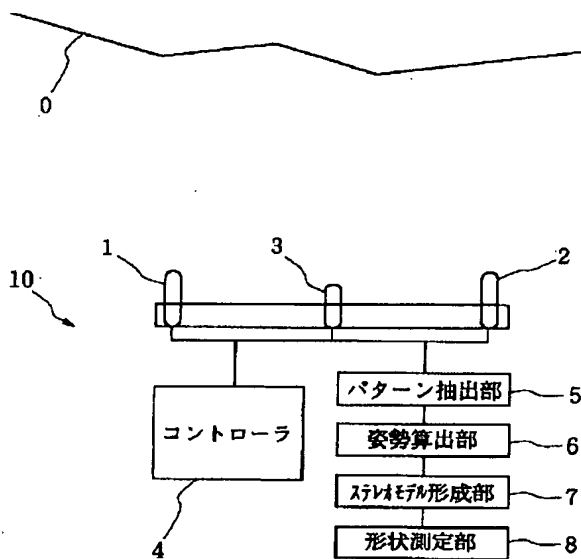
【符号の説明】

- 0 測定対象物
- 1, 2 左右画像撮影部
- 3 パターン投影部
- 4 コントローラ
- 5 パターン抽出部
- 6 姿勢算出部
- 7 ステレオモデル形成部
- 8 形状測定部
- 9 テンプレートマッチング画像
- 10 形状測定装置
- 11 光学系
- 12 CCD
- 13 CCDドライバ
- 14 オペアンプ
- 15 A/D変換器
- 20 投影パターン
- 51 パターン投影用画像メモリ
- 52 パターンなし用画像メモリ
- 53 画像差分演算部(器)
- 54 パターン画像メモリ
- 55 パターン位置検出部

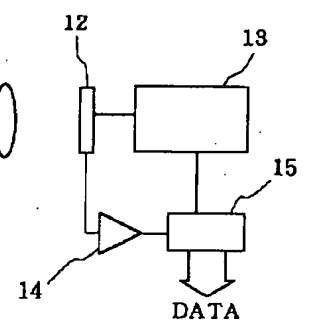
【図1】



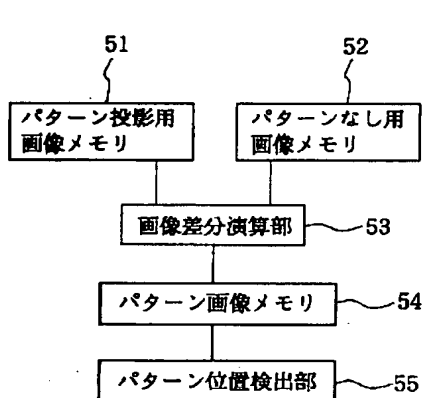
【図2】



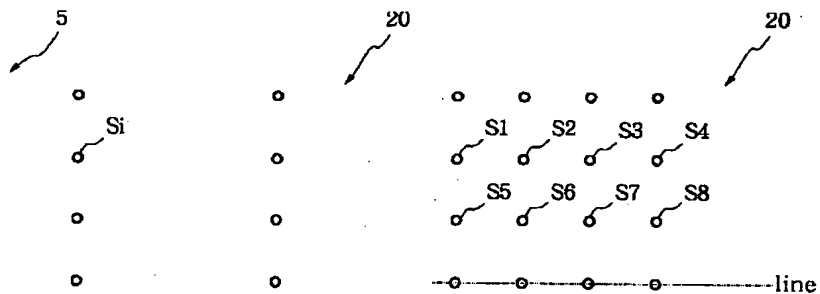
【図3】



【図4】

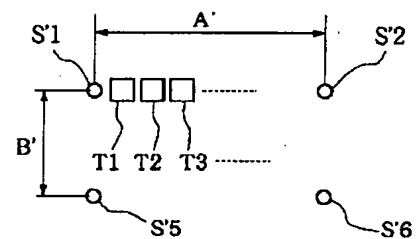


【図5】

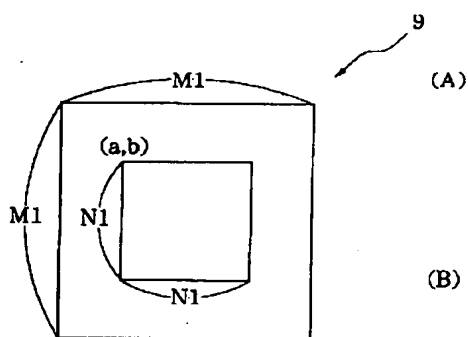


【図6】

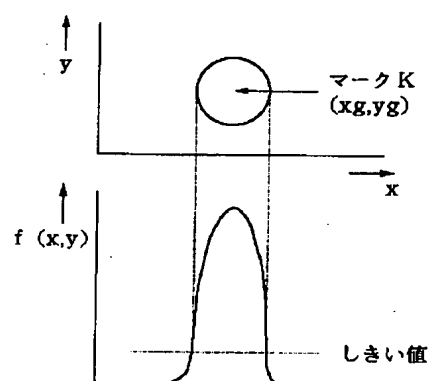
【図9】



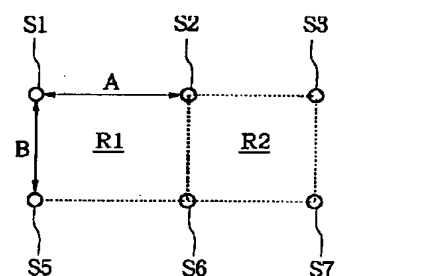
【図7】



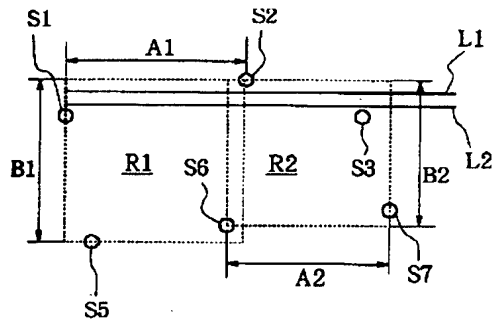
【図8】



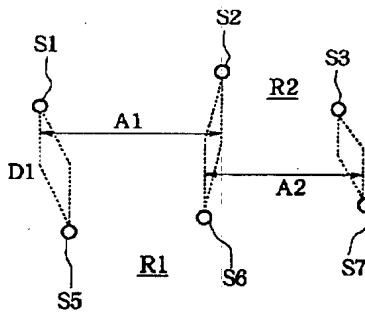
【図10】



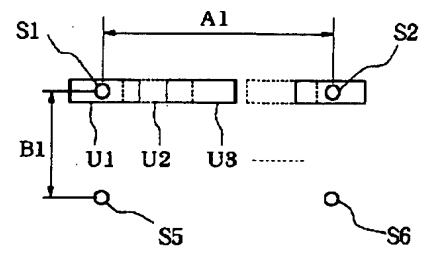
【図11】



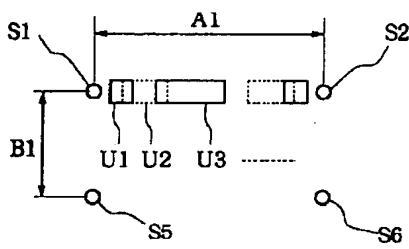
【図12】



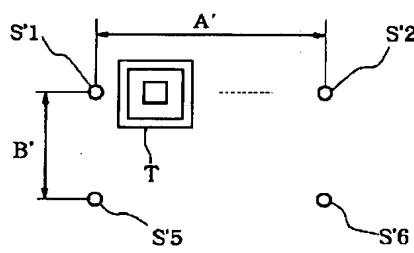
【図13】



【図14】



【図15】



【図16】

